(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

УДК: 622.23.05:531.1

10.70769/3030-3214.SRT.3.2.2025.21

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН ОТКАЗОВ И РАСЧЁТ СКОРОСТИ ОБТЕКАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОГРУЖНОГО НАСОСА







Курбонов Ойбек Мухамматкулович

Доцент (PhD), Докторант (DSc) Навоийского государственного горно-технологического университета, Навоий, Узбекистан
E-mail: oybek7001@mail.ru
ORCID ID: 0009-0000-7699-0520

Атакулов Лазизжон Неъматович

Профессор (DSc), Заведующий кафедры «Горная электромеханика» Навоийского государственного горно-технологического университета, Навоий, Узбекистан
E-mail: Laziz218@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-3561-8850

Сафарова Мафтуна Давроновна

Докторант (PhD) Навоийского государственного горно-технологического университета, Навоий, Узбекистан

Аннотация. *В статье изучены распространенные причины выхода из строя погружных насосов. Исследовано влияние пластовой температуры на работу погружных насосов. Изучено негативные факторы появляющиеся, при повышении температуры электродвигателя погружного насоса. Исследовано влияние высокий температуры на материал погружного насоса. Изучено воздействие и способы установки охлаждающего кожуха для погружного насоса. Рассчитано скорость потока, проходящий около электродвигательной части погружного насоса. Определено оптимальный диаметр охлаждающего кожуха для погружного насоса.*

Ключевые слова: *погружные центробежные насосы, причины отказов, повышения температуры, пластовой жидкость, перегрев, охлаждении насоса, эффективности работы, охлаждающие кожухи, скорость обтекания двигателя насоса.*

CHO‘KMA NASOSLARDAGI NOSOZLIKLARNING ASOSIY SABABLARINI O‘RGANISH VA DVIGATEL ATROFIDAGI OQIM TEZLIGINI HISOBLASH

Qurbonov Oybek Muxammatqulovich

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti dotsenti (PhD), doktoranti (DSc), Navoiy, O‘zbekiston

Ataqulov Lazizjon Ne’matovich

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti “Konchilik elektromexanikasi” kafedrasi professori (DSc), mudiri, Navoiy, O‘zbekiston

Safarova Maftuna Davronovna

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti doktoranti (PhD), Navoiy, O‘zbekiston

Annotatsiya. *Maqolada cho‘kma nasoslar ishdan chiqishining umumiy sabablari ko‘rib chiqilgan. Skvajinadagi haroratining cho‘kma nasoslar ishlashiga ta'siri o‘rganilgan. Cho‘kma nasos dvigatel harorati ko'tarilganda paydo bo‘ladigan salbiy omillar o'rganilgan. Yuqori haroratning cho‘kma nasos materialiga ta'siri o'rganilgan. Sovutish g‘ilofini cho‘kma nasoslarga o‘rnatish usullari va uning ta’siri o‘rganilgan. Cho‘kma nasos dvigatel qismi atrofida o'tadigan oqim tezligi hisoblangan. Cho‘kma nasos uchun sovutish g‘ilofining optimal diametri aniqlangan.*

Kalit so'zlar. *markazdan qochma cho'kma nasoslar, nosozlik sabablari, haroratning oshishi, qatlam suyuqligi, haddan tashqari qizib ketish, nasosning sovishi, ish samaradorligi, sovutish g'ilofi, nasos dvigateli atrofidagi oqim tezligi.*

INVESTIGATION OF THE MAIN CAUSES OF FAILURES AND CALCULATION OF THE FLOW VELOCITY OF A SUBMERSIBLE PUMP MOTOR

Qurbonov Oybek Muxammatkulovich

Associate Professor (PhD), Doctoral Student (DSc) of Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan

Atakulov Lazizjon Ne'matovich

Professor (DSc), Head of the Department of "Mining Electromechanics" of the Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan

Safarova Maftuna Davronovna

Doctoral student (PhD) of Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan

Abstract. *The article studies common causes of submersible pumps failure. The influence of formation temperature on the operation of submersible pumps is studied. Negative factors appearing, at increase of temperature of electric motor of submersible pump are studied. The influence of high temperature on the material of submersible pump has been studied. The effect and methods of installation of cooling casing for submersible pump are studied. Calculated the flow velocity passing near the electric motor part of the submersible pump. Determined the optimum diameter of the cooling jacket for the submersible pump.*

Keywords: *submersible centrifugal pumps, causes of failures, temperature rise, formation fluid, overheating, pump cooling, efficiency of operation, cooling shrouds, flow velocity of the pump motor.*

Введение. Центробежные насосы (рис. 1) являются наиболее широко используемыми в системах водоснабжения и водоотведения. Они характеризуются высокой производительностью, способностью развивать значительный напор и высоким коэффициентом полезного действия. Работа таких насосов основана на действии центробежной силы, возникающей при вращении рабочего колеса. Жидкость, поступающая в центральную часть колеса, под влиянием центробежных сил перемещается вдоль изогнутых лопаток к стенкам корпуса, откуда затем направляется через напорный канал в напорный патрубок. В центре колеса при этом создается зона пониженного давления (вакуум), благодаря чему жидкость, находящаяся под атмосферным давлением в водозаборном резервуаре, всасывается в насос [1].

В любом электрическом двигателе во время работы даже с самым высоким КПД часть подводимой электрической мощности идет на нагрев, чтобы двигатель не перегрелся и не вышел из строя, его нужно охлаждать. Для этого у поверхностных электродвигателей на валу установлен вентилятор, который при включении двигателя в работу охлаждает его потоком воздуха. Двигатели для скважинных насосов имеют другую конструкцию, и у них нет вентилятора, но их во время эксплуатации тоже необходимо охлаждать. Что за вопрос, скажут некоторые, двигатель находится и работает в скважине, где температура воды колеблется от 8-14°С, и он будет охлаждаться этой водой [2,3].

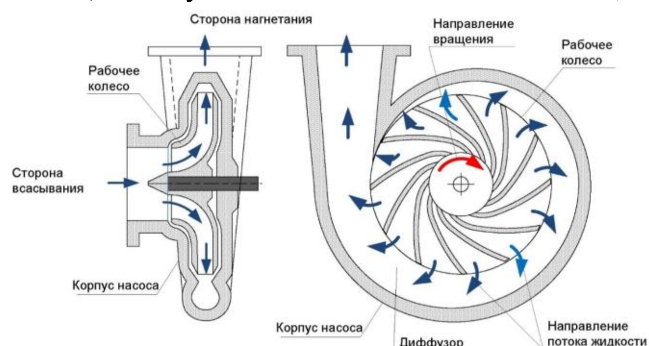


Рис.1. Принципиальная схема движения жидкости в центробежном насосе.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

Анализ литературы и методы. Погружные центробежные насосы представляют собой отдельную конструктивную группу, отличающуюся от стандартных насосов с горизонтальным валом. Их вертикальное размещение в скважинах или колодцах обусловило особые конструктивные решения, касающиеся восприятия гидравлических нагрузок, расположения и смазки подшипников, а также формы, размеров и компоновки элементов насоса [4,5].

В процессе эксплуатации погружных насосов персонал, обслуживающий оборудование (включая инженерно-технических работников подразделений, цехов и управлений систем водоснабжения и водоотведения), должен чётко различать причины отказов оборудования, классифицируемые следующим образом:

1. Субъективные причины;
2. Технические причины;
3. Геологические причины.

Субъективные причины отказов — это отказы, обусловленные действиями персонала, нарушающими действующие инструкции и технологические регламенты на этапах подготовки, ввода скважины в режим (ВНР), эксплуатации, а также при выполнении сервисных работ. К данной группе относятся также дефекты, возникающие вследствие некачественного ремонта, сборки или обслуживания оборудования. Примерами таких причин являются: ошибки при подготовке скважины, нарушение технологии ВНР, неправильная эксплуатация погружного насоса (ПН), ошибки при подборе оборудования, отсутствие необходимого оснащения, повреждения кабельной линии, а также нарушения в процессе спуско-подъёмных операций [6, 7].

Технические причины отказов - связаны с внутренними дефектами или недостаточной надёжностью оборудования, проявляющимися при условии соблюдения всех нормативных требований и эксплуатационных инструкций со стороны обслуживающего персонала. К данной категории относятся: коррозионные повреждения элементов ПН, негерметичность моторного отсека, эксплуатация оборудования в искривлённых стволах скважин, производственные дефекты основного и вспомогательного оборудования, конструктивные недостатки погружаемых узлов, а также нестабильное или некачественное электроснабжение.

Геологические причины отказов – обусловлены природными характеристиками коллектора, составом пластового флюида, а также конструктивными и геомеханическими особенностями конкретной скважины. Для месторождений Кызылкумского региона характерны следующие геологические факторы отказов: слабый или отсутствующий приток из пласта, засорение фильтрационной части механическими примесями, интенсивное солеотложение, воздействие агрессивных подземных газов, высокая температура пластовой среды, а также особенности конструкции ствола скважины.

Погружным насосам приходится работать в сложных условиях. Они постоянно находятся под воздействием воды, вибрации, высокий температуры, абразивных частиц и т.д. Но несмотря на то, что агрегаты изготавливаются с большим запасом прочности, в них со временем появляются различные неисправности.

Повышенная температура пластовой жидкости оказывает негативное воздействие на функционирование погружного насоса. Сам по себе факт высокой температуры указывает на поступление дополнительной энергии к элементам насосной установки, что, в свою очередь, способствует ускоренной диссоциации скважной жидкости — распаду сложных химических соединений на отдельные компоненты и элементы.

Таблица 1.

Температурная классификация скважин по воздействию пластовой температуры на эксплуатационные характеристики ПН

Категория (шифр осложнения)	Характеристика температурного осложнения	Критерии отнесения скважины к категории
Т - 1	Невысокая температура	Пластовая температура менее 90 °C
Т - 2	Высокая температура	Пластовая температура от 90 до 120 °C
Т - 3	Очень высокая температура	Пластовая температура более 120 °C

В зависимости от температуры пластовой жидкости, скважины классифицируются на три категории, основанные на температурных показателях. Эти категории, отражающие степень влияния температуры на работу погружного

насоса, приведены в таблице 1 [5].

С увеличением температуры пластовой жидкости на 1 К наблюдается усиление процессов диссоциации, сопровождающееся снижением значения pH в среднем на 0,01 единицы. Подобное изменение кислотно-щелочного баланса приводит к росту агрессивности среды и, как следствие, к интенсификации коррозионных процессов, воздействующих на элементы насосного оборудования [7].

Резултаты. По аналогии двигатели для скважин охлаждаются потоком перекачиваемой жидкости. Но для того, чтобы двигатель нормально охлаждался, вокруг него должна быть определенная скорость протока жидкости. Эту скорость можно обеспечить при помощи охлаждающих кожухов. Кроме того, очень часто скважинные насосы используются для подачи воды из емкостей, цистерн или открытых водоемов, где применение охлаждающих кожухов обязательно. Заводы производители скважинных насосов в технических характеристиках указывают минимально допустимую скорость жидкости для охлаждения корпуса двигателя. Некоторые производители указывают также максимальное время работы двигателя на закрытую задвижку.

Погружной электродвигатель, обладающий высокой рабочей температурой и не оснащённый защитным кожухом на входе, после отключения продолжает передавать тепло окружающей жидкости. Это приводит к локальному нагреву воды в зоне размещения двигателя, в результате чего происходит термическая конвекция: тёплая вода поднимается вверх, в то время как более холодная, насыщенная кислородом вода опускается вниз в сторону фильтра.

Существует высокая вероятность перегрева двигателя, особенно в условиях эксплуатации при повышенных пластовых температурах. Современные электротехнические материалы, применяемые в конструкции погружных электродвигателей, позволяют обеспечить надёжную работу при температурах до 120 °C, а в высокотермостойком исполнении — до 150 °C.

Тем не менее, двигатель должен обладать термостойкостью, так как перегрев остаётся одной из ведущих причин преждевременных отказов, составляя порядка 10 % от общего числа. Анализ эксплуатационных данных указывает, что основная доля отказов связана именно с перегревом, обусловленным недостаточной эффективностью охлаждения. Ключевыми факторами здесь являются высокая температура среды и ограниченный приток пластовой жидкости в зону размещения двигателя.

При перегреве двигателя снижается его КПД, что часто сопровождается перерасходом электроэнергии. Если двигатель насоса вышел из строя, его можно заменить на оригинальный или аналогичный от другого производителя.

В случае повреждения электроники управления двигателем двигатель необходимо разобрать, что во многих случаях может доставить много хлопот, ведь производители используют различные уловки, чтобы затруднить доступ внутрь насоса без применения специализированных инструментов.

Современные электродвигатели современной конструкции, изготовленные по современным технологиям, во время работы часто нагреваются сильнее, чем насосы предыдущего поколения. На практике температура поверхности некоторых современных электродвигателей может достигать 90 °C (194 °F). Однако перегрев двигателя в процессе эксплуатации может быть вызван рядом причин [8]. При повышении температуры ряд конструкционных и изоляционных материалов начинает обугливаться, в результате чего утрачивается их диэлектрическая прочность — они становятся проводниками тока. Ещё до наступления стадии обугливания, под воздействием длительного температурного воздействия материалы теряют механическую прочность, становятся хрупкими, склонными к разрушению, и утрачивают свои изолирующие свойства. Указанное явление известно как тепловое старение.

В конструкции погружных насосов водозаборный узел, как правило, располагается выше электродвигателя. Такое конструктивное решение способствует повышению производительности установки, однако в ряде эксплуатационных условий оно может способствовать перегреву электродвигателя из-за недостаточного охлаждения.

Увеличение производительности насоса

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

может быть достигнуто путём повышения скорости вращения ротора. Однако частотные ограничения стандартной электросети (50 Гц) лимитируют максимально допустимую скорость вращения электродвигателя на уровне 3000 об/мин, что накладывает ограничения на рост производительности без изменения конструкции или применения частотно-регулируемых приводов.

Сегодняшней день от фирмы Grundfos предлагается типа охлаждающие кожухи для скважинных насосов и электродвигателей с вертикальным и горизонтальным монтажом и подключением как прямым, так и по схеме «звезда-треугольник».

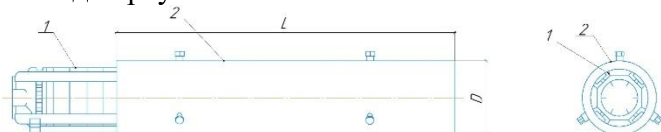


Рис.2. Схема охлаждающего кожуха насосного агрегата, размещаемого в скважине:
1-погружной насос; 2- охлаждающий кожух.

Применение охлаждающего кожуха на всасывающем участке погружного электродвигателя позволяет значительно снизить его рабочую температуру. При остановке агрегата кожух продолжает выполнять функцию теплоотвода, поглощая остаточное тепло от двигателя, тем самым предотвращая развитие термического эффекта в окружающей жидкости. Это способствует снижению интенсивности образования минеральных отложений на внутренних поверхностях скважины и, как следствие, увеличивает интервалы между обслуживанием и очисткой от минеральной корки.

Особое внимание следует уделить риску локального перегрева, особенно в случаях горизонтального размещения насосного оборудования, а также при плотной компоновке нескольких агрегатов. В подобных условиях использование охлаждающего кожуха на всасывании является необходимой мерой для обеспечения надёжности и термической устойчивости работы насосной установки.

Примеры вариантов установки охлаждающих рубашек - кожухов на погружные насосы, установленные в открытых водоемах, цистернах, емкостях, в местах, колодцах и скважинах с вышерасположенными входными отверстиями, в местах, где охлаждение электродвигателя погружного насоса обеспечивается только свободной конвекцией.

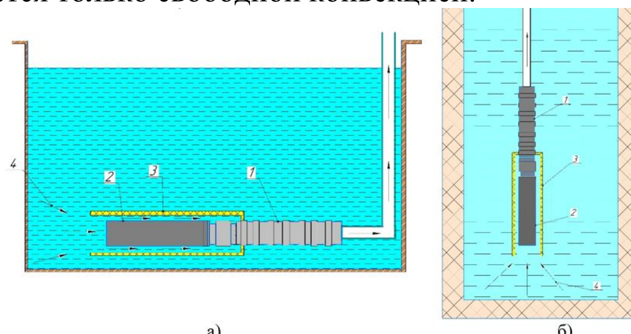


Рис.3. Примеры установки охлаждающего кожуха при:
а) Горизонтальная установка насоса; б) Вертикальная установка насоса. 1- насосный часть ПН; 2-двигательный часть ПН; 3-охлаждающий кожух; 4-направление жидкости.

Обсуждение. Если скорость обтекания двигателя насоса меньше, чем указано в технических характеристиках на оборудования, то применение охлаждающих кожухов обязательно [9,10].

Для расчета скорости охлаждения используйте формулу:

$$v \approx \frac{353 \cdot Q}{D^2 - d^2} \text{ [м/с]}$$

Q (м³/ч) – расход (для расчета требуется минимальная производительность насоса);

D (мм) – условный диаметр скважины;

d (мм) – условный диаметр электродвигателя.

Таблица 2.

Определение оптимального диаметра кожуха для погружного насоса

Расход Q, м³/ч	Диаметр скважина $D_{ск}$,мм	Диаметр двигателя насоса $D_{дв}$,мм	Предлягаемая диаметр охлаж-дающего кожуха, мм	Скорость проточного охлаждения двигателя,м/с
8	159	93	113	0,6
			123	0,43
			133	0,31
			143	0,23
			145	0,19
25	195	145	165	1,42
			170	1,12
			175	0,91
			180	0,77
			185	0,66
			190	0,51

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

При проведение математических расчётах нами были выбраны 2 типа скважин (диаметр скважин $D_{ск}$ =159 мм и $D_{ск}$ =195 мм), 2 типа погружных насосов (USK408/42 диаметр двигателя насоса $D_{дв}$ =93 мм и URN 6 25/14 диаметр двигателя насоса $D_{дв}$ =145 мм). Так как они являются наиболее широко используемыми видами оборудованиями в отечественной промышленности.

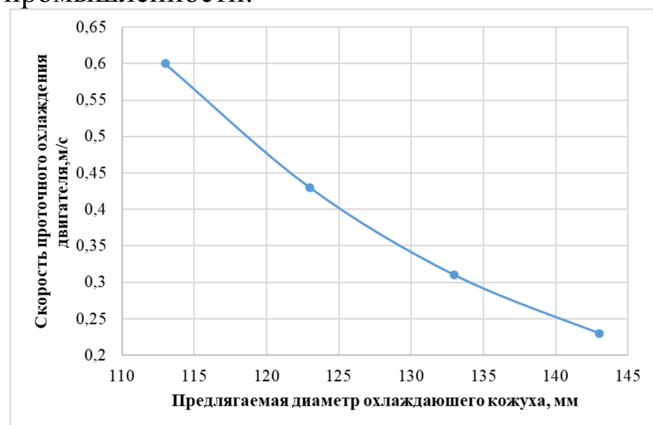


Рис.4. Зависимость изменение скорости проточного охлаждение от внутреннего диаметра охлаждающего кожуха. (диаметр скважине $D_{ск}$ =159 мм, диаметр двигателя насоса $D_{дв}$ =93 мм).

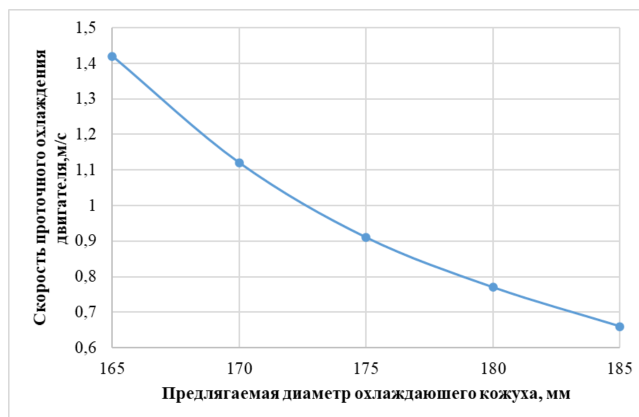


Рис.5. Зависимость изменение скорости проточного охлаждение от внутреннего диаметра охлаждающего кожуха. (диаметр скважине $D_{ск}$ =185 мм, диаметр двигателя насоса $D_{дв}$ =145 мм).

Вывод. Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что скорость потока, проходящего через электродвигатель, должна находится в диапазоне от 0,15 до 3 м/с для обеспечения оптимальных условий работы насоса. Если скорость обтекания двигателя погружного насоса меньше, чем указано в технических характеристиках оборудования, то применение охлаждающих кожухов обязательно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Установки погружных центробежных насосов для добычи нефти: Международный транслятор. /Под ред. В.Ю.Алекперова, В.Я. Керженбаума, «Нефть и газ», 1999 г. - 611; ил., стр.293-299.
2. Лобачев. П.В. «Насосы и насосные станции» М. строиздат.2000.
3. Кожевников Н. Н. Экономика в энергетике: учебное пособие / под редакцией Н. Н. Кожевникова. - М.: Издательский центр «Академия», 2003. 384 с.
4. M. Bogdevicius, J. Januteniene, R. Didziokas, S. Razmas, V. Skrickij, P. Bogdevicius. Investigation of the hydrodynamic processes of a centrifugal pump in a geothermal system. Transport. Lithuania. 2018. Volume 33 (1). – P. 223-230.
5. Atakulov L.N., Kurbonov O. M. Исследование по повышению работоспособности насосного оборудования // Journal of Advances in Engineering Technology. Vol.1(1). 2020/ - 21-24 p.p.
6. Makhmudov A., Kurbonov O. M., Safarova M. D. Research of the pressure characteristics of the centrifugal water drainage plant of the WCP 25-60G brand // Australian Journal of Science and Technology. – Australia, June 2020. – Vol. 4. – Issue 2. – pp. 279-282 (23. Scientific Journal Impact Factor. Импакт-фактор 5,99).
7. Махмудов А.М., Курбонов О.М. The method and arrangement to increase the efficiency and utilization of submersible pumping equipment // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2021. – №1. – С. 4-7 (05.00.00. №7).

8. Kurbonov O.M. Method and Device for Improving the Utilization and Operating Efficiency of Submersible Pumping Equipment // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – India, March 2021. – No. 3. – Vol. 9. – pp. 211-216.
9. Атакулов Л.Н., Курбонов О.М. Исследование режимных параметров насосных установок с целью снижения энергетических затрат в условиях эксплуатации // «Горный вестник Узбекистана». Научно-технический и производственный журнал Выпуск № 3. Навоий, 2023 г, 79-82 ст.
10. Atakulov L.N., Kurbonov O. M. Theoretical basis for improving the efficiency of pumping units operation at in-situ leaching mines // Konchilik mashinalari va texnologiyalari. ilmiy-texnik jurnali. ISSN: 2181-3442. №2, Toshkent, 2023, 14-23 var.